



①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 47 631 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
B 23 Q 5/54
B 23 Q 1/00
F 16 C 33/62

⑳ Aktenzeichen: 101 47 631.0
㉔ Anmeldetag: 27. 9. 2001
㉕ Offenlegungstag: 13. 6. 2002

DE 101 47 631 A 1

③0 Unionspriorität:
2000-307925 06. 10. 2000 JP

㉑ Anmelder:
NTN Corp., Osaka, JP

㉒ Vertreter:
Patentanwälte Eder & Schieschke, 80796 München

㉓ Erfinder:
Tako, Hiroshi, Iwata, Shizuoka, JP; Mizutani,
Mamoru, Iwata, Shizuoka, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Lager für eine Hauptspindel einer Werkzeugmaschine

⑤7 Ein Lager zur Verwendung in der Hauptspindel einer Werkzeugmaschine wird bereitgestellt, bei dem mindestens die Laufbahn des Lagers in Gewichtsprozent folgendes enthält:

C: 0,6% bis 1,3%; Si: 0,3% bis 3,0%; Mn: 0,2% bis 1,5%; P: maximal 0,03%; S: maximal 0,03%; Cr: 0,3% bis 5,0%; Ni: 0,1% bis 3,0%; Al: maximal 0,050%; Ti: maximal 0,003%; O: maximal 0,0015%; N: maximal 0,015%, und der Rest besteht aus Fe und unvermeidlichen Verunreinigungen. Die Laufbahn wird nach dem Abschrecken oder Carbonitrieren angelassen und ihre Oberflächenhärte beträgt nach dem Anlassen mindestens HRC 58.

DE 101 47 631 A 1

Beschreibung

1. Anwendungsgebiet der Erfindung

- 5 [0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Wälzlager für eine Hauptspindel einer Werkzeugmaschine.

2. Beschreibung der zugehörigen Technik

- 10 [0002] Eine Hauptspindel einer Werkzeugmaschine muss mit hoher Präzision bei geringem Temperaturanstieg rotieren, um eine hohe Bearbeitungsgenauigkeit aufrechtzuerhalten. Hohe Präzision und ein geringer Anstieg der Temperatur während der Rotation werden auch für ein die Hauptspindel lagerndes Lager gefordert. Um diese Anforderungen zu erfüllen, werden eine geringe Menge Fett und eine geringe Menge Öl (Ölnebel oder Ölluft) in Lagern zur Schmierung verwendet.

- 15 [0003] Ein geringer Temperaturanstieg bei Lagern für die Hauptspindel der Werkzeugmaschine muss beibehalten werden, um eine Verschlechterung der Arbeitsgenauigkeit aufgrund der Wärmeverformung der Hauptspindel zu verhindern. Solche Lager werden also unter der anspruchsvollen Bedingung einer hochschnellen Rotation bei einer geringen Menge Schmieröl eingesetzt. Unter solchen rauen Bedingungen können Rauheit und Verschleiß der Laufbahn aufgrund eines etwas unzureichenden Ölfilms, Beschädigungen wie Schälern und plastisch werden sowie eine verkürzte Lebensdauer aufgrund von Fressen Probleme darstellen. Eine zu geringe Dicke des Ölfilms kann beispielsweise durch Eindringen von 20 Schneidöl oder Spänen des Werkstücks in das Lager, eine Zunahme der Wirklast und Wärmezeugung im Motor verursacht werden. Rauheit und Verschleiß der Laufbahn können Geräusche im Betrieb und eine Verschlechterung der Rotationsgenauigkeit der Hauptspindel verursachen. Da zu erwarten ist, dass sich die Rotationsgeschwindigkeit der Hauptspindel in Zukunft noch weiter erhöht, ist es von großer Wichtigkeit die oben beschriebenen Beschädigungen zu verhindern.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

- 30 [0004] Es ist deshalb eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Lager bereitzustellen, das eine hervorragende Dauerhaftigkeit und eine hervorragende Beständigkeit gegen Beschädigungen der Oberfläche aufweist, wenn es in der Hauptspindel einer Werkzeugmaschine eingesetzt wird.

- [0005] Bei dem Lager zur Verwendung in einer Hauptspindel einer Werkzeugmaschine gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht mindestens seine Laufbahn aus Stahl, der in Gewichtsprozent folgende Anteile hat: C (Kohlenstoff): mindestens 0,6% und nicht mehr als 1,3%; Si (Silizium): mindestens 0,3% und nicht mehr als 3,0%; Mn (Mangan): mindestens 0,2% und nicht mehr als 1,5%; P: maximal 0,03%; S (Schwefel): maximal 0,03%; Cr (Chrom): 35 mindestens 0,3% und nicht mehr als 5,0%; Ni (Nickel): mindestens 0,1% und nicht mehr als 3,0%; Al (Aluminium): maximal 0,050%; Ti (Titan): maximal 0,003%; O (Sauerstoff): maximal 0,0015%; N (Stickstoff): maximal 0,015%; der Rest besteht aus Fe (Eisen) und unvermeidlichen Verunreinigungen. Die Laufbahn wird nach dem Abschrecken oder Carbonitrieren angelassen und ihre Oberflächenhärte beträgt nach dem Anlassen mindestens HRC (Rockwell-Härte, C-Skala) 58.

- 40 [0006] Wird der Stahl der obigen Zusammensetzung abgeschreckt und angelassen, hat er selbst ohne Carbonitrieren eine hervorragende Wälzdauerfestigkeit. Es ist deshalb möglich, den Carbonitrierprozess entfallen zu lassen und dadurch die Herstellungskosten des Stahls zu senken. Obwohl es unter dem Gesichtspunkt der Senkung der Herstellungskosten vorzuziehen ist, den Carbonitrierprozess entfallen zu lassen, kann eine hervorragende Wälzdauerfestigkeit erzielt werden, wenn Carbonitrieren anstelle des Abschreckens durchgeführt wird.

- 45 [0007] Außerdem ist der Stahl der obigen Zusammensetzung kostengünstiger als ausscheidungsgehärteter Lagerstahl wie M50.

- [0008] Ein Zusammenhang ergibt sich zwischen der über Oberflächenhärte von Lagerbauteilen aus dem Stahl der obigen Zusammensetzung und der Wälzdauerfestigkeit: eine höhere Oberflächenhärte bringt wahrscheinlich eine höhere Lebensdauer bei Wälzbelastung mit sich. Somit wird die Lebensdauer bei Wälzbelastung bei der Erfindung verlängert, 50 indem eine Oberflächenhärte von HRC 58 oder darüber eingestellt wird. Liegt die Oberflächenhärte unter HRC 58, hat die Lebensdauer bei Wälzbelastung die Tendenz, sich deutlich zu verkürzen, und Schwankungen der Nutzungsdauer nehmen zu.

- [0009] Die in dieser Erfindung offenbarten Verbesserungen liefern ein kostengünstiges Lager hoher Wälzdauerfestigkeit zur Verwendung in der Hauptspindel einer Werkzeugmaschine. Das Lager zur Verwendung in der Hauptspindel einer Werkzeugmaschine kann ein Schrägkugellager oder ein Zylinderrollenlager sein.

- [0010] Nachfolgend wird der bevorzugte Bereich jedes im Stahl gemäß der vorliegenden Erfindung enthaltenen Anteils erläutert. Die Einheit "%" wie hierin verwendet bedeutet Gewichtsprozent, sofern nichts Anderes angegeben ist.

C: 0,6 bis 1,3%

- 60 [0011] Kohlenstoff ist ein entscheidender Bestandteil, um eine ausreichend hohe Festigkeit für Wälzlager sicherzustellen. Bei dieser Erfindung beträgt der Prozentsatz des Kohlenstoffgehalts mindestens 0,6%, um eine vorgegebene Härte nach der Wärmebehandlung zu erzielen. Carbide spielen eine wichtige Rolle bei der Verlängerung der Lebensdauer bei Wälzbelastung; es wurde jedoch festgestellt, dass große Carbidpartikel entstehen und dann die Lebensdauer bei Wälzbelastung verkürzen, wenn der Prozentsatz des Kohlenstoffanteils 1,3% überschreitet. Der obere Grenzwert des Kohlenstoffanteils wird deshalb als 1,3% bestimmt.

Si: 0,3 bis 3,0%

[0012] Vorzugsweise wird Silizium zugesetzt, da Si ein Erweichen bei hohen Temperaturen verhindert und die Wärmebeständigkeit der Lager verbessert. Der untere Grenzwert des Prozentsatzes des Siliziumanteils ist als 0,3% bestimmt, da diese Effekte nicht auftreten, wenn der Si-Anteil geringer als 0,3% ist. Die Wärmebeständigkeit der Lager nimmt mit zunehmendem Si-Anteil zu; überschreitet der Si-Anteil jedoch 3,0%, erreicht der Effekt der Siliziumzugabe ein Maximum und die Verformbarkeit bei hohen Temperaturen sowie die Bearbeitbarkeit nehmen ab. Deshalb wird der obere Grenzwert des Siliziumanteils als 3,0% bestimmt.

Mn: 0,2 bis 1,5%

[0013] Mangan ist ein Element, das zur Desoxidierung von Stahl und zur Verbesserung der Abschreckeigenschaften verwendet wird. Da mindestens 0,2% einer Mn-Zugabe erforderlich sind, um solche Effekte zu erzielen, wird der untere Grenzwert des Mn-Anteils als 0,2% bestimmt. Ist andererseits mehr als 1,5% Mn im Stahl enthalten, nimmt seine Bearbeitbarkeit deutlich ab. Deshalb wird der obere Grenzwert des Mn-Anteils als 1,5% bestimmt.

P: 0,03% oder darunter

[0014] Phosphor scheidet sich in einer austenitischen Korn grenze ab und verringert dadurch die Zähigkeit und die Lebensdauer bei Wälzbelastung des Stahls. Sein Anteil ist deshalb auf 0,03% begrenzt.

S: 0,03% oder darunter

[0015] Schwefel beeinträchtigt die Warmbearbeitbarkeit des Stahls und verringert seine Zähigkeit und Lebensdauer bei Wälzbelastung, indem er nicht metallische Einschlüsse bildet. Sein oberer Grenzwert ist deshalb als 0,03% bestimmt. Vorzugsweise wird der S-Gehalt so niedrig wie möglich gehalten, da Schwefel den Stahl so negativ beeinflusst. Da Schwefel jedoch den Effekt hat, die Bearbeitbarkeit zu verbessern, können bis zu 0,05% Schwefel enthalten sein.

Cr: 0,3 bis 5,0%

[0016] Chrom ist ein Element, das in der vorliegenden Erfindung eine wichtige Rolle spielt. Dieses Element wird dem Stahl zugesetzt, um seine Abschreckeigenschaften zu verbessern, die Härte durch Bildung von Carbiden zu erhöhen und die Nutzungsdauer zu verlängern. Da Stahl Cr in einer Höhe von mindestens 0,3% enthalten muss, um eine vorgegebene Carbidmenge zu erzeugen, wird der untere Grenzwert des Cr-Anteils als 0,3% bestimmt. Überschreitet andererseits der Anteil 5,0%, werden zu große Carbide erzeugt und die Lebensdauer bei Wälzbelastung wird verkürzt. Der obere Grenzwert des Cr-Anteils wird deshalb auf 5,0% begrenzt.

Ni: 0,1 bis 3,0%

[0017] Nickel ist im Rahmen dieser Erfindung ebenfalls ein wichtiges Element, da es eine Gefügeänderung während des Wälzens und die Abnahme der Härte bei hohen Temperaturen verhindert, wodurch die Lebensdauer bei Wälzbelastung des Lagers verlängert wird. Außerdem führt die Zugabe von Ni zu einer höheren Zähigkeit und einer längeren Lebensdauer bei Vorhandensein von Fremdstoffen sowie zu einer Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit. Da Stahl Ni in einer Menge von mindestens 0,1% enthalten muss, um diese Effekte zu erzielen, wird der untere Grenzwert des Ni-Anteils als 0,1% bestimmt. Überschreitet der Ni-Anteil jedoch 3,0%, verbleibt eine große Menge Austenit nach dem Abschrecken im Stahl und die vorgegebene Härte kann nicht erreicht werden. Außerdem nehmen die Kosten des Stahls mit zunehmender Ni-Menge zu. Der obere Grenzwert des Ni-Anteils wird deshalb als 3,0% bestimmt.

Al: 0,050% oder darunter

[0018] Aluminium dient als ein Desoxidationsmittel während der Stahlherstellung. Da Al Oxideinschlüsse mit großer Härte bildet und die Lebensdauer bei Wälzbelastung verkürzt, sollte der Al-Anteil so weit wie möglich gesenkt werden. Überschreitet außerdem der Al-Anteil 0,050%, wird die Lebensdauer bei Wälzbelastung des Lagers erheblich verkürzt. Der obere Grenzwert des Al-Anteils wird deshalb als 0,050% bestimmt. Beim Versuch, den Al-Anteil unter 0,005% zu senken, nehmen die Kosten der Stahlherstellung zu. Der untere Grenzwert des Al-Anteils sollte deshalb 0,005% betragen.

Ti: 0,003% oder darunter

O: 0,0015% oder darunter

N: 0,015% oder darunter

[0019] Titan, Sauerstoff und Stickstoff bilden Oxide und Nitride im Stahl. Da solche Oxide und Nitride nicht metallische Einschlüsse im Stahl werden, die Ausgangspunkte der Zerstörung der Dauerfestigkeit bilden und dadurch die Lebensdauer unter Wälzbelastung verkürzen, werden die oberen Grenzwerte als 0,003% für Ti, 0,0015% für O und 0,015% für N bestimmt.

[0020] Als Ergebnis der Effekte der Zugabe dieser Legierungselemente wird die Erweichung der Oberfläche des Stahls selbst während einer lokal begrenzten erheblichen Temperaturerhöhung aufgrund von beispielsweise Gleitreibung verhindert. Die Beständigkeit der Stahloberfläche gegen Beschädigungen wird verbessert und die Lebensdauer unter Wälzbelastung verlängert.

[0021] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung enthält der Stahl außerdem mindestens 0,05 bis zu

unter 0,25 Gew.-% Mo oder 0,05 bis 1,0 Gew.-% V. Damit können die Wälzdauerfestigkeit und die Beständigkeit der Oberfläche gegen Beschädigung weiter verbessert werden.

[0022] Nunmehr werden nachstehend die bevorzugten Mengen der Mo- und V-Anteile beschrieben.

5

Mo: 0,05 bis zu unter 0,25%

[0023] Molybdän verbessert die Abschreckeigenschaften des Stahls und verhindert die Erweichung während des Anlassens, indem eine feste Lösung aus Carbiden gebildet wird. Molybdän wird dem Stahl vor allem deshalb zugesetzt, weil es die Lebensdauer unter Wälzbelastung des Stahls bei hohen Temperaturen verlängert. Erreicht der Mo-Gehalt jedoch 0,25% oder mehr, steigen die Stahlkosten und seine Bearbeitbarkeit wird erheblich verringert, da die Härte des Stahls nicht abnimmt, wenn eine Erweichungsbehandlung zur leichteren spanenden Bearbeitung erfolgt. Der Mo-Anteil ist deshalb auf weniger als 0,25% begrenzt. Da jedoch andererseits in Mo-Zusatz von weniger als 0,05% keinen Einfluss auf die Carbidbildung hat, wird der untere Grenzwert des Mo-Anteils als 0,05% bestimmt.

15

V: 0,05 bis 1%

[0024] Vanadium erzeugt feine Carbidpartikel, die sich mit Kohlenstoff verbinden, und trägt dadurch zur Bildung feiner Kristalle bei, die dem Stahl eine höhere Festigkeit und Zähigkeit verleihen. Gleichzeitig verbesserte Vanadium die Wärmebeständigkeit des Stahls, verhindert Erweichung nach dem Anlassen bei hohen Temperaturen, verlängert die Lebensdauer unter Wälzbelastung und verringert die Schwankungen bei der Lebensdauer. Da sich diese Effekte erst einstellen, wenn der V-Anteil 0,05% oder höher ist, wird der untere Grenzwert des V-Anteils als 0,05% bestimmt. Überschreitet der V-Anteil jedoch 1,0%, nehmen die Bearbeitbarkeit und die Warmverformbarkeit des Stahls ab. Deshalb wird der obere Grenzwert des V-Anteils als 1,0% bestimmt.

[0025] Selbst wenn das Lager einer Anlassbehandlung bei hohen Temperaturen unterworfen wird, wird unter der Annahme, dass das Lager auf hohe Temperaturen erwärmt wird, als Ergebnis des Zufügens dieser Elemente die Oberflächenhärte HRC 58 oder höher. Oberflächenschäden wie Schälern und plastisch werden können dann erfolgreich verhindert werden.

[0026] Bei dem Wälzlager gemäß einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung hat die Laufbahn eine carbonitrierte Oberflächenschicht, die mindestens 10 Vol.% Restaustenit enthält. Der Stahl der obigen Zusammensetzung ergibt eine Oberflächenhärte von HRC 58 oder darüber, selbst wenn der Stahl bei hohen Temperaturen z. B. 350°C angelassen wird. Ein solches Anlassen bei hohen Temperaturen verringert die Menge des Restaustenits und sorgt für eine hervorragende Maßstabilität bei hohen Temperaturen, während eine Härte von mindestens HRC 58 bereitgestellt wird. Als Ergebnis können die Lebensdauer bei Wälzbelastung und die Verschleißbeständigkeit des Stahls bei hohen Temperaturen verbessert werden.

[0027] Es ist auch möglich, die Schalbeständigkeit und die Dauerhaftigkeit zu verbessern, indem eine carbonitrierte Schicht gebildet wird, die Restaustenit in einer Menge von mindestens 10 Vol.% in der Oberfläche der Lagerbauteile aus dem Stahl der obigen Zusammensetzung enthält. Der Grund hierfür ist, dass eine solche Behandlung ein hohes Maß an Oberflächenzähigkeit vermittelt und dadurch das Auftreten von Rissen und ihre Entwicklung verhindert. Wird nämlich der N-Anteil in der Oberflächenschicht durch Carbonitrieren erhöht, wird ein Ms-Punkt (Ausgangstemperatur der Martensitumwandlung) der Oberflächenschicht gesenkt. Dann verbleibt eine große Menge Austenit in der Oberflächenschicht, die während des Abschreckens nicht in Martensit umgewandelt wird. Restaustenit hat eine hohe Zähigkeit und verfestigt sich durch Bearbeitung, was zur Vermeidung von Rissbildung und Rissentwicklung beiträgt. In einer Oberflächenschicht mit einem niedrigen Ms-Punkt beginnt die Martensitumwandlung später als im Inneren und das Ausmaß der Martensitumwandlung ist größer als im Inneren. Es liegt dann eine Druckrestbeanspruchung in der Oberflächenschicht vor und die Wälzdauerfestigkeit der Oberflächenschicht wird verbessert. Als Ergebnis wird die Schälfestigkeit erhöht und die Lebensdauer der Wälzkörper verlängert. Um solche Effekte zu erzielen, sind mindestens 10 Vol.-% Restaustenit in der Oberfläche der carbonitrierten Schicht erforderlich. Die Zugabe von Stickstoff durch Carbonitrieren ist auch wirksam, um eine höhere Wärmebeständigkeit und Beständigkeit gegen plastisch werden bereitzustellen.

[0028] Auf die Anlasszähigkeit wird nachstehend eingegangen. Lager, die bei hohen Temperaturen eingesetzt werden, erhalten typischerweise eine Anlassbehandlung bei einer Temperatur, die höher ist als die Betriebstemperatur, um ihre Abmessungen im Betrieb stabil zu halten. Eine ausführliche Untersuchung der Beziehung zwischen Lebensdauer bei Wälzbelastung bei einer Betriebstemperatur von 200°C und der Anlasshärte weist darauf hin, dass die Lebensdauer unter Wälzbelastung von Stahl wahrscheinlich zunimmt, wenn die Anlasshärte erhöht wird. Insbesondere hat Stahl, der bei einer höheren Temperatur angelassen wurde, eine längere Lebensdauer, selbst wenn die Anlasshärte gleich ist. Lager mit einer größeren Härte nach dem Anlassen bei hoher Temperatur haben eine längere Lebensdauer. Außerdem wurde festgestellt, dass dann wenn die Härte nach dem Anlassen unter HRC 58 liegt, die Lebensdauer der Wälzkörper erheblich verkürzt wird und die Schwankungen der Lebensdauer zunehmen. Um die Lebensdauer bei hohen Temperaturen zu erhöhen und die Schwankungen der Lebensdauer zu verringern, ist es erforderlich, eine Härte von HRC 58 oder darüber aufrechtzuerhalten, und gleichzeitig wird vorzugsweise die Anlassstemperatur so hoch wie möglich gewählt. Zum Beispiel kann die Anlassstemperatur vorzugsweise mindestens 180°C und maximal 350°C betragen. Da Wälzlager typischerweise bei Temperaturen von ca. 100°C verwendet werden, sollte die Anlassstemperatur mindestens 180°C betragen.

[0029] Art, Prinzip und Nutzen der Erfindung werden anhand der nachfolgenden detaillierten Beschreibung in Zusammenhang mit den beiliegenden Zeichnungen, in denen gleiche Teile durch identische Bezugszeichen oder Buchstaben gekennzeichnet sind, verdeutlicht.

65

KURZE ERLÄUTERUNG DER ZEICHNUNGEN

[0030] In den beiliegenden Zeichnungen zeigen:

- [0031] Fig. 1 eine Ansicht eines senkrechten Schnitts einer Hauptspindel einer Werkzeugmaschine;
 [0032] Fig. 2A eine Schnittansicht eines Schrägkugellagers; Fig. 2B eine Schnittansicht eines zweireihigen Zylinderrollenlagers; und Fig. 2C eines Schnittansicht eines einreihigen Zylinderrollenlagers;
 [0033] Fig. 3A ein Balkendiagramm, das die Ergebnisse der Gleitverschleißtests mit Stahl gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt; und Fig. 3B ein schematisches Diagramm einer Gleitverschleißprüfvorrichtung;
 [0034] Fig. 4A ein Balkendiagramm, das die Ergebnisse der Verschleißtests mit Stahl gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt; und Fig. 4B ein schematisches Diagramm einer Verschleißprüfvorrichtung;
 [0035] Fig. 5A ein Balkendiagramm, das die Ergebnisse der Gleitverschleißtests mit Stahl gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt; und Fig. 5B ein schematisches Diagramm einer Gleitverschleißprüfvorrichtung;
 [0036] Fig. 6A ein Balkendiagramm, das die Ergebnisse der Verschleißtests mit Stahl gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt; und Fig. 6B ein schematisches Diagramm einer Verschleißprüfvorrichtung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

- [0037] Fig. 1 zeigt die Struktur einer typischen Hauptspindel einer Werkzeugmaschine. Die Hauptspindel 1 kann sich ohne Einschränkung der Rotation in einem Gehäuse 2 bewegen und wird von einem Schrägkugellager 3 und einem Zylinderrollenlager 4 gelagert. Ein Läufer 5 und ein Ständer 6 bilden einen Motor, der die Hauptspindel 1 dreht. Der Läufer 5 ist an der Hauptspindel 1 befestigt, während der Ständer 6 am Gehäuse 2 befestigt ist. Ein Lagerkühlmantel ist mit Bezugszeichen 7 und ein Motorkühlmantel mit Bezugszeichen 8 gekennzeichnet.
 [0038] Fig. 2 zeigt ein typisches Lager, das die Hauptspindel 1 lagert. Fig. 2A zeigt die mit ihren Rücken zueinander weisenden Schrägkugellager, Fig. 2B zeigt ein zweireihiges Zylinderrollenlager und Fig. 2C zeigt ein einreihiges Zylinderrollenlager. Diese Lager haben jeweils Innenlaufringe 12, 22 und 32, Außenlaufringe 14, 24 und 34, Wälzelemente 16, 26 und 36 und Halter 18, 28 und 38 als Hauptelemente. Im Allgemeinen wird hoch legierter Chrom-Lagerstahl wie SUJ2 für die Innenlaufringe 12, 22 und 32 und die Außenlaufringe 14, 24 und 34 verwendet, während hoch legierter Chrom-Lagerstahl und Keramik für die Wälzelemente 16, 26 und 36 verwendet wird. Gemäß dieser Ausführungsform enthalten die Laufringe, nämlich die Innen- und Außenlaufringe (12, 22, 32 und 14, 24, 34) folgende Legierungselemente im Stahl: C: mindestens 0,6% und maximal 1,3%; Si: mindestens 0,3% und maximal 3,0%; Mn: mindestens 0,2% und maximal 1,5%; P: bis zu maximal 0,03%; S: bis zu maximal 0,03%; Cr: mindestens 0,3% und maximal 5,0%; Ni: mindestens 0,1% und maximal 3,0%; Al: bis zu maximal 0,050%; Ti: bis zu maximal 0,003%; O: bis zu maximal 0,0015%; und N: bis zu maximal 0,015%, um die Verschleißbeständigkeit und die Beständigkeit gegen Fressen zu verbessern. Der Rest des Stahls besteht aus Eisen und unvermeidlichen Verunreinigungen. Dieser Stahl wird nach entweder Abschrecken oder Carbonitrieren angelassen und weist nach dem Anlassen eine Oberflächenhärte von mindestens HRC 58 auf.
 [0039] Die obige Stahlzusammensetzung und der Anteil jedes Elements werden nachstehend detailliert beschrieben.

Beispiele

- [0040] Im Folgenden werden Beispiele der vorliegenden Erfindung beschrieben.
 [0041] Stahl der in Tabelle 1 aufgeführten chemischen Zusammensetzung wurde in einem Vakuuminduktionsofen verschmolzen und zu einem 150 kg-Stahlblock geformt. Der Stahlblock wurde später drei Stunden lang auf 1200°C gehalten und bei einer hohen Temperatur geschmiedet, um eine Rundstange mit einem Durchmesser von 50 mm bereitzustellen. Die Rundstange wurde zum Normal glühen eine Stunde lang auf 850°C gehalten und dann in Luft abgekühlt. Des Weiteren wurde die Stange in einer Erweichungsbehandlung sechs Stunden lang auf 790°C gehalten, um die Bearbeitbarkeit zu erleichtern, dann mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 10°C/h auf 650°C abgekühlt und weiter zum Weichmachen an Luft auf Raumtemperatur abgekühlt. Mit dieser wärmebehandelten Stahlstange wurden verschiedene Versuche durchgeführt.

TABELLE 1

Chemische Zusammensetzung (Gew.-%)

Stahl- sorte	№	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Al	Ti	O	N
Beispiele der Erfindung														
A	1	0.81	2.01	0.50	0.018	0.020	0.53	1.49	—	—	0.021	0.0023	0.0010	0.009
B	2	1.01	0.75	0.45	0.019	0.020	1.01	1.51	—	—	0.020	0.0023	0.0011	0.011
C	3	0.80	2.51	0.44	0.017	0.022	0.55	1.48	—	—	0.022	0.0024	0.0013	0.010
D	4	1.21	1.01	0.35	0.018	0.019	0.78	1.49	—	—	0.020	0.0025	0.0010	0.011
E	5	1.05	1.51	0.40	0.019	0.017	2.01	1.50	—	—	0.021	0.0022	0.0009	0.008
F	6	1.01	1.49	0.45	0.016	0.021	1.51	1.51	—	—	0.021	0.0023	0.0010	0.009
G	7	1.20	1.01	0.25	0.018	0.020	0.78	1.50	0.24	—	0.021	0.0024	0.0011	0.011
H	8	1.01	0.51	0.45	0.019	0.021	2.51	1.51	—	0.41	0.022	0.0025	0.0010	0.010
I	9	1.00	0.52	0.46	0.020	0.020	1.51	1.52	—	0.85	0.021	0.0022	0.0009	0.011
J	10	1.00	1.48	1.10	0.018	0.020	1.52	1.48	—	—	0.022	0.0023	0.0011	0.009
K	11	1.21	1.00	0.45	0.019	0.019	2.51	2.51	—	—	0.020	0.0023	0.0012	0.010
L	12	1.01	0.50	0.35	0.017	0.021	0.79	4.51	—	—	0.021	0.0025	0.0011	0.010
M	13	1.01	0.25	0.50	0.020	0.020	0.02	1.50	—	—	0.020	0.0022	0.0009	0.009
N	14	1.22	0.22	0.45	0.019	0.019	0.02	1.49	—	—	0.021	0.0023	0.0010	0.010
O	15	1.00	1.51	0.45	0.018	0.019	0.03	1.45	—	—	0.021	0.0024	0.0011	0.011
P	16	1.23	1.01	0.35	0.017	0.018	0.02	1.51	—	—	0.020	0.0023	0.0011	0.010
Q	17	0.55	1.00	0.40	0.018	0.017	0.80	1.50	0.25	—	0.020	0.0022	0.0010	0.010
R	18	1.55	1.01	0.35	0.017	0.018	1.00	1.50	—	0.40	0.022	0.0023	0.0011	0.009
S	19	1.21	1.00	0.30	0.018	0.040	0.50	1.50	—	—	0.015	0.0022	0.0025	0.025
T	20	1.20	1.01	2.85	0.018	0.020	1.50	1.45	—	—	0.021	0.0021	0.0010	0.011
U	21	1.21	0.88	0.45	0.017	0.019	1.50	0.01	—	—	0.020	0.0021	0.0011	0.009
V	22	1.10	0.55	0.15	0.017	0.020	1.00	0.22	0.01	0.02	0.003	0.0020	0.0010	0.009
W	23	1.15	1.01	0.45	0.018	0.020	1.50	1.45	0.35	—	0.021	0.0022	0.0011	0.010
X	24	1.15	1.00	0.40	0.019	0.021	2.00	1.40	—	2.01	0.022	0.0021	0.0010	0.010
Y	25	1.21	4.01	0.55	0.019	0.019	1.00	1.40	—	—	0.020	0.0022	0.0010	0.008
Z	26	1.20	0.55	0.45	0.018	0.018	4.23	1.35	—	—	0.019	0.0020	0.0008	0.010
Vergleichsbeispiele														

Härteprüfung

[0042] Ein zylindrischer Prüfling mit einem Durchmesser von 20 mm und einer Länge von 100 mm wurde aus der Stahlstange von 50 mm Durchmesser geschnitten, um die Anlasshärte nach dem Abschrecken und die Anlasshärte nach dem Carbonitrieren zu messen.

[0043] Zum Abschrecken wurde der Prüfling in einem Salzofen erwärmt, 30 Minuten lang auf 850°C gehalten und dann in Öl auf 80°C abgeschreckt. Anschließend wurde der Prüfling erneut im Salzofen erwärmt, zwei Stunden lang auf 350°C gehalten und dann an Luft zum Anlassen abgekühlt.

[0044] Zum Carbonitrieren wurde der Prüfling 60 Minuten lang auf 850°C in einem Ofen mit kontrollierter Atmosphäre in einer RX-Atmosphäre gehalten, wie er in der üblichen gewerblichen Fertigung eingesetzt wird, in dem das Kohlenstoffpotenzial auf 1,0 bis 1,2% eingeregelt und NH₃ zwischen 5 und 10% gehalten wurde. Dann wurde der Prüfling in Öl abgeschreckt und 120 Minuten lang bei 350°C angelassen.

[0045] Aus der Mitte des Prüflings, der der obigen Abschreck-/Anlassbehandlung oder des Prüflings, der der obigen Carbonitrier-/Anlassbehandlung unterzogen wurde, wurde ein 10 mm dicker scheibenförmiger Prüfling geschnitten. Beide Seiten des Prüflings wurden nass poliert, um einen Prüfling zur Härtemessung bereitzustellen.

[0046] Zur Härtemessung wurde ein Rockwell-Härtemesser verwendet. Die Härte von Stellen 2 mm unterhalb der Oberfläche des Prüflings wurde gemessen und die Werte von sieben Messpunkten wurde gemittelt, um die Anlasshärte zu bestimmen.

Dauerprüfung unter Wälzbelastung

[0047] Zur Untersuchung des Betriebsverhaltens der Lagerkomponente wurde ein Dauerprüfgerät für Wälzbelastung eingesetzt und die Lebensdauer jedes Materials wurde bewertet.

[0048] Ein ringförmiger Prüfling mit einem Außendurchmesser von 47 mm, einem Innendurchmesser von 29 mm und einer Dicke von 7 mm wurde durch spanende Bearbeitung aus der Rundstange mit 50 mm Durchmesser geschnitten und für die Dauerprüfung mittels des Dauerprüfgeräts für Axialwälzbelastung grob bearbeitet.

[0049] Die grob bearbeiteten Prüflinge wurden einer Abschreck-/Anlassbehandlung sowie Carbonitrieren unterzogen. Diese Wärmebehandlungen erfolgten in einem gewerblichen Ofen wie er für die normale Fertigung verwendet wird.

[0050] Die Abschreck-/Anlassbehandlung wurde in einem Ofen mit kontrollierter Atmosphäre durchgeführt, in dem eine RX-Gasatmosphäre bereitgestellt wurde. Die Prüflinge wurden unter einen Kohlenstoffpotenzial, das so eingeregelt war, dass es keine Entkohlung oder Aufkohlung auf Basis des Kohlenstoffanteils jedes Prüflings gab, 30 Minuten lang auf 850°C gehalten. Danach wurden die Prüflinge in Öl abgeschreckt und 120 Minuten lang bei 350°C angelassen.

[0051] Die Wärmebehandlung der carbonitrierten Prüflinge erfolgte unter den gleichen Bedingungen wie oben dargelegt.

[0052] Beide Seiten jedes Prüflings wurden nach der Wärmebehandlung spiegelpoliert. Der Polierrand der carbonitrierten Prüflinge betrug an beiden Seiten 0,1 mm.

[0053] Für die Dauerprüfung unter Wälzbelastung wurde ein Dauerprüfgerät für Axialwälzbelastung eingesetzt. Tabelle 2 zeigt die Prüfbedingungen. Die Dauerprüfung erfolgte bei Raumtemperatur und bei 200°C. Außerdem wurde die Dauerprüfung unter einer Bedingung durchgeführt, bei der Rotation unter Vorhandensein von Fremdstoffen simuliert wurde.

Tabelle 2

Prüfbedingungen der Dauerprüfung unter Wälzbelastung

Prüfgerät	Dauerprüfgerät für Axialwälzbelastung
Kontaktflächendruck	5,0 GPa
Rotationsgeschwindigkeit	2000 U/min
Prüftemperatur	Raumtemperatur, 200°C
Schmierung	Turbinenöl
Menge Fremdstoffe	0,4 g/1000 cm ³

[0054] Die Dauerprüfung wurde 15 mal unter den gleichen Bedingungen wiederholt. Die Zeit bis zum Erreichen einer akkumulierten Schadenswahrscheinlichkeit von 10% in einer Weibull-Verteilung wurde als Lebensdauer des Prüfstücks betrachtet. Das Material des Vergleichsbeispiels Nr. 13 in Tabelle 2 ist SUJ2 und die Lebensdauer dieses Materials, das einer Abschreck-/Anlassbehandlung unterzogen worden war, wurde bei der Beschreibung der Lebensdauer jedes Materials als 1,0 gesetzt.

Carbid

[0055] Für die Messung der Carbide im Stahl wurde der Prüfling, der für die Dauerprüfung im Dauerprüfgerät für Axialwälzbelastung herangezogen wurde, verwendet. Die Probe zur mikroskopischen Beobachtung wurde durch Durch-

schneiden des Rings in Querrichtung hergestellt, der für die Dauerprüfung unter Axialwälzbelastung spanend bearbeitet und wärmebehandelt worden war. Die Probe wurde spiegepoliert und mit einem Pikrinsäureätzmittel zur mikroskopischen Beobachtung von Carbiden geätzt. Die Ebene 1,0 mm unterhalb der Oberfläche der Wälzkörper wurde unter dem Mikroskop auf Carbide untersucht und die Größe des größten Carbidpartikels in einem Beobachtungsbereich von 50 mm² wurde gemessen.

[0056] Tabelle 3 zeigt die Messergebnisse der obigen Anlasshärte bei 350°C, die Lebensdauer unter Wälzbelastung bei Raumtemperatur und 200°C, die Lebensdauer unter Wälzbelastung bei Vorhandensein von Fremdstoffen und die maximale Carbidgeöße im Fall der vorliegenden Erfindung. Tabelle 4 zeigt die entsprechenden Ergebnisse der Vergleichsbeispiele.

[0057] Die in Tabelle 3 und 4 beschriebenen Prüfergebnisse zeigen, dass der Stahl mit der Zusammensetzung gemäß der vorliegenden Erfindung selbst nach dem Anlassen bei 350°C eine Härte von HRC 58 oder darüber aufweist. Außerdem zeigt der erfindungsgemäße Stahl eine längere Lebensdauer unter Wälzbelastung bei Raumtemperatur und bei 200°C sowie bei Vorhandensein von Fremdstoffen, sogar nachdem er einer einfachen Abschreck-/Anlassbehandlung (HAT: heat treatment Wärmebehandlung) unterzogen worden ist, gegenüber dem Stahl der Vergleichsbeispiele. Es wurde außerdem festgestellt, dass der Stahl mit der Zusammensetzung gemäß der Erfindung selbst dann eine hervorragende Lebensdauer bei Wälzbelastung aufweist, wenn die Abschreck-/Anlassbehandlung durch Carbonitrieren ersetzt wird. Außerdem haben die Carbidpartikel 0,1 mm unter der Oberfläche der Wälzkörper eine Größe von maximal 8,0 µm.

Tabelle 3

No.	Stahl- sorte	Behandlung	350°C Anlasshärte (HRC)	Maximale Carbidgröße (µm)	Verh. Lebensdauer unter Wälzbelastung bei Raumtemperatur	Verh. Lebensdauer unter Wälzbelastung bei 200°C	Verh. Lebensdauer unter Wälz- belastung bei vorh. Fremdstoffen bei Raum- temperatur 200°C
1	A	HT	58.8	2.5	3.2	4.0	3.6
2	B	Carbonitrieren	59.3	3.3	3.5	4.8	4.1
3	C	HT	59.4	3.5	4.5	6.9	4.8
4	D	Carbonitrieren	59.8	3.7	4.7	7.8	5.2
5	E	HT	58.8	2.5	3.1	5.1	3.4
6	F	Carbonitrieren	60.0	2.9	3.5	5.8	4.0
7	G	HT	60.5	2.8	10.1	14.0	10.4
8	H	Carbonitrieren	61.1	3.1	10.7	15.2	11.3
9	I	HT	59.9	3.3	5.1	8.1	5.4
10	J	Carbonitrieren	59.3	3.9	7.0	10.2	7.7
11	K	HT	60.0	3.2	6.1	9.5	6.3
12	L	Carbonitrieren	60.7	4.0	8.5	11.1	8.9
		HT	60.7	3.5	7.3	11.1	7.7
		Carbonitrieren	61.5	4.7	7.9	13.2	8.5
		HT	59.8	2.7	4.0	7.6	4.3
		Carbonitrieren	59.0	3.5	7.0	9.5	7.5
		HT	59.5	3.2	4.5	8.7	4.9
		Carbonitrieren	60.1	4.0	6.5	10.0	7.1
		HT	59.6	4.2	5.2	9.1	5.4
		Carbonitrieren	59.9	5.0	7.3	9.4	7.8
		HT	60.5	6.1	9.4	13.5	9.7
		Carbonitrieren	60.0	6.7	7.5	10.3	8.0
		HT	59.8	6.8	6.4	9.6	5.7
		Carbonitrieren	61.1	7.5	4.2	6.5	4.7

Beispiel der Erfindung

Tabelle 4

No.	Stahl- sorte	Behandlung	350°C Anlasshärte (HRC)	Maximale Carbidgröße (µm)	Verh. Lebensdauer unter Wälzbelastung bei Raumtemperatur	Verh. Lebensdauer unter Wälzbelastung bei 200°C	Verh. Lebensdauer unter Wälz- belastung bei vorh. Fremdstoffen 200°C
13	M	HT	55.6	1.1	1.0	1.0	1.0
14	N	HT	57.2	2.8	1.4	2.0	1.7
15	O	Carbonitrieren	56.0	2.5	1.3	1.1	1.2
16	P	HT	57.3	4.2	1.7	2.2	1.9
17	Q	HT	60.1	2.8	2.5	2.0	2.5
18	R	Carbonitrieren	60.3	4.3	2.8	2.6	3.1
19	S	HT	60.1	3.0	2.1	2.0	1.9
20	T	Carbonitrieren	60.8	4.2	2.8	3.3	3.2
21	U	HT	53.0	2.5	0.7	0.3	0.6
22	V	Carbonitrieren	54.3	2.3	1.1	0.9	1.4
23	W	HT	54.2	6.5	1.4	1.9	1.5
24	X	Carbonitrieren	61.5	9.2	0.9	1.0	1.2
25	Y	HT	59.4	4.4	1.4	1.4	1.7
26	Z	Carbonitrieren	60.3	5.1	2.4	2.5	2.6
			59.4	7.7	1.5	1.9	1.3
			59.9	6.5	1.7	1.9	1.8
			62.5	17.0	1.1	1.2	0.9
			63.0	29.0	0.8	0.9	1.1
			56.5	3.8	0.3	0.4	0.6
			57.7	3.7	0.6	0.9	0.5
			59.4	3.0	1.5	1.1	1.3
			60.0	3.4	2.2	2.3	2.3
			61.5	2.4	2.5	1.9	2.1
			62.0	3.3	2.7	2.3	2.9
			62.5	1.4	2.7	2.3	2.9
			62.6	2.7	2.9	2.7	3.0
			62.4	1.5	2.6	2.3	2.8
			62.3	2.5	2.9	2.6	2.9

Beispiel der Erfindung

[0058] Als Nächstes wurde eine Prüfung mit doppelreihigen Zylinderrollen durchgeführt, um den Gleitreibungswiderstand der Prüflinge zu bewerten. Fig. 3A zeigt die Testergebnisse und Fig. 3B zeigt die schematische Struktur der Prüfvorrichtung. Die Prüfung erfolgte unter Verwendung eines rotierenden Prüflings mit einem Durchmesser von 40 mm und unter der Bedingung, dass der Kontaktflächendruck maximal 2900 MPa betrug. Die verwendeten Prüflinge bestanden aus Stahl gemäß Beispiel a (entsprechend Nr. 4 in Tabelle 1), Beispiel b (der Prüfling von Beispiel 1 war carbonitriert) und dem Vergleichsbeispiel (SUJ2). Bei dieser Prüfung gilt, dass der Prüfling Fressen verursacht hat, wenn das Drehmoment einen vorgegebenen Wert erreicht. Im Vergleichsbeispiel trat Fressen nach 22 und 210 Minuten auf. Andererseits wurde bei Beispiel a Fressen erst nach 510 und 630 Minuten festgestellt, während bei Beispiel b sogar nach 1200 Minuten kein Fressen festgestellt wurde.

[0059] Um die Verschleißbeständigkeit desselben Prüflings wie oben festzustellen, wurde die Verschleißmenge gemessen, indem ein rotierender Zylinder gegen den Prüfling gepresst wurde, wozu eine Prüfvorrichtung verwendet wurde, deren schematische Struktur in Fig. 4B dargestellt ist. Fig. 4A zeigt die Prüfergebnisse. Verglichen mit dem Verschleiß, der bei den Prüflingen der Vergleichsbeispiele beobachtet wurde, betrug der Verschleiß etwas weniger als 1/4 in Beispiel a und 1/10 oder darunter in Beispiel b der vorliegenden Erfindung. Die Prüfung erfolgte unter der Bedingung, dass der rotierende Prüfling einen Durchmesser von 40 mm, eine Rotationsgeschwindigkeit von 4775 U/min. einen maximalen Druck auf der Kontaktfläche von 200 MPa hatte und die Dauer der Prüfung 10 Minuten betrug.

[0060] Die obigen Ergebnisse zeigen, dass sowohl bei den Bewertungen des Gleitreibungswiderstands als auch der Verschleißbeständigkeit der Lagerstahl gemäß der vorliegenden Erfindung in Beispiel a und b ein besseres Betriebsverhalten als der dem Stand der Technik entsprechende aufweist.

[0061] Wälzelemente aus Keramik können im Lager für die Hauptspindel der Werkzeugmaschine verwendet werden, wenn eine Rotation mit hoher Drehzahl gefordert ist. Fig. 5 und 6 zeigen die Testergebnisse in dem Fall, in dem ein Keramikmaterial als Pedant in den beiden obigen Prüfarten verwendet wurde. Es ist eindeutig, dass Beispiele a und b bessere Ergebnisse aufweisen als die Vergleichsbeispiele. Die Prüfung im Falle von Fig. 5 erfolgte unter den Bedingungen, dass der feststehende Prüfling einen Durchmesser von 40 mm und einen maximalen Druck auf der Kontaktfläche von 3400 MPa hatte; der rotierende Prüfling hatte einen Durchmesser von 40 mm, seine Rotationsgeschwindigkeit betrug 4775 U/min und die Dauer der Prüfung war 10 Minuten (Fig. 6).

[0062] Wie oben beschrieben wird es möglich, Stahl von hervorragender Wälzdauerfestigkeit und Beständigkeit gegen Oberflächenbeschädigung bereitzustellen, da die besten Legierungselemente und Anteile ermittelt worden sind. Als Ergebnis können die Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit von Wälzlagern zur Verwendung in der Hauptspindel einer Werkzeugmaschine verbessert werden.

[0063] Obwohl beschrieben worden ist, was derzeit als bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung gilt, versteht es sich, dass verschiedene Modifikationen vorgenommen werden können, und es ist beabsichtigt, dass die beigefügten Ansprüche alle solchen Modifikationen abdecken, die unter den wahren Geist und Gültigkeitsbereich der Erfindung fallen.

Patentansprüche

1. Lager für eine Hauptspindel einer Werkzeugmaschine, bei dem mindestens eine Laufbahn des Lagers aus Stahl besteht, der in Gewicht folgende Legierungselemente aufweist:

C: mindestens 0,6% und nicht mehr als 1,3%;

Si: mindestens 0,3% und nicht mehr als 3,0%;

Mn: mindestens 0,2% und nicht mehr als 1,5%;

P: maximal 0,03%;

S: maximal 0,03%;

Cr: mindestens 0,3% und nicht mehr als 5,0%;

Ni: mindestens 0,1% und nicht mehr als 3,0%;

Al: maximal 0,050%;

Ti: maximal 0,003%;

O: maximal 0,0015%;

N: maximal 0,015%; und

Fe (Eisen) und unvermeidliche Verunreinigungen, und

bei dem die Laufbahn nach dem Abschrecken oder Carbonitrieren angelassen wird und ihre Oberflächenhärte nach dem Anlassen mindestens HRC 58 beträgt.

2. Lager nach Anspruch 1, bei dem der Stahl des Weiteren entweder mindestens 0,05 bis unter 0,25 Gew.-% Mo oder 0,05 bis 1,0 Gew.-% V aufweist.

3. Lager nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Laufbahn eine carbonitrierte Oberflächenschicht hat, die mindestens 10 Vol.-% Restaustenit enthält.

4. Lager nach Anspruch 1, 2 oder 3, bei dem das Lager ein Schrägkugellager ist.

5. Lager nach Anspruch 1, 2 oder 3, bei dem das Lager ein Zylinderrollenlager ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1

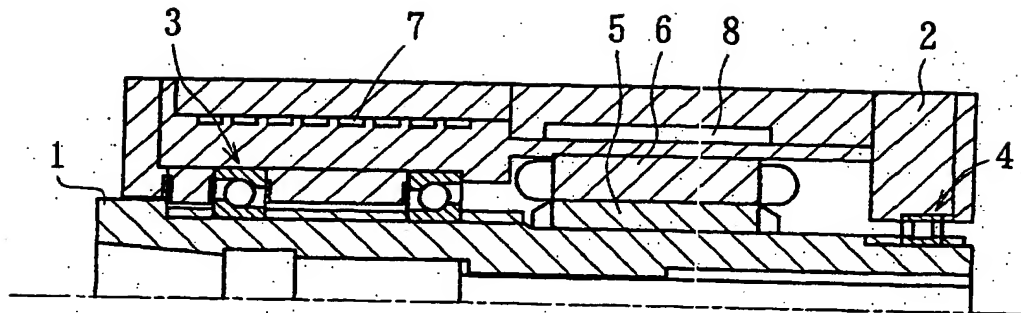


FIG. 2A

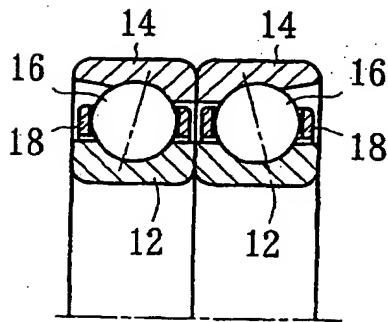


FIG. 2B

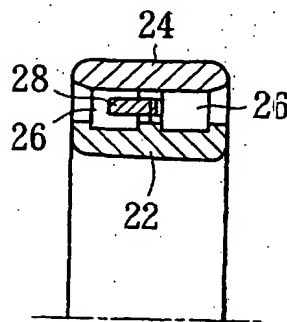


FIG. 2C

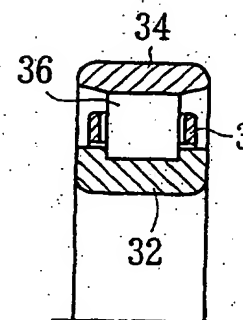


FIG. 3A

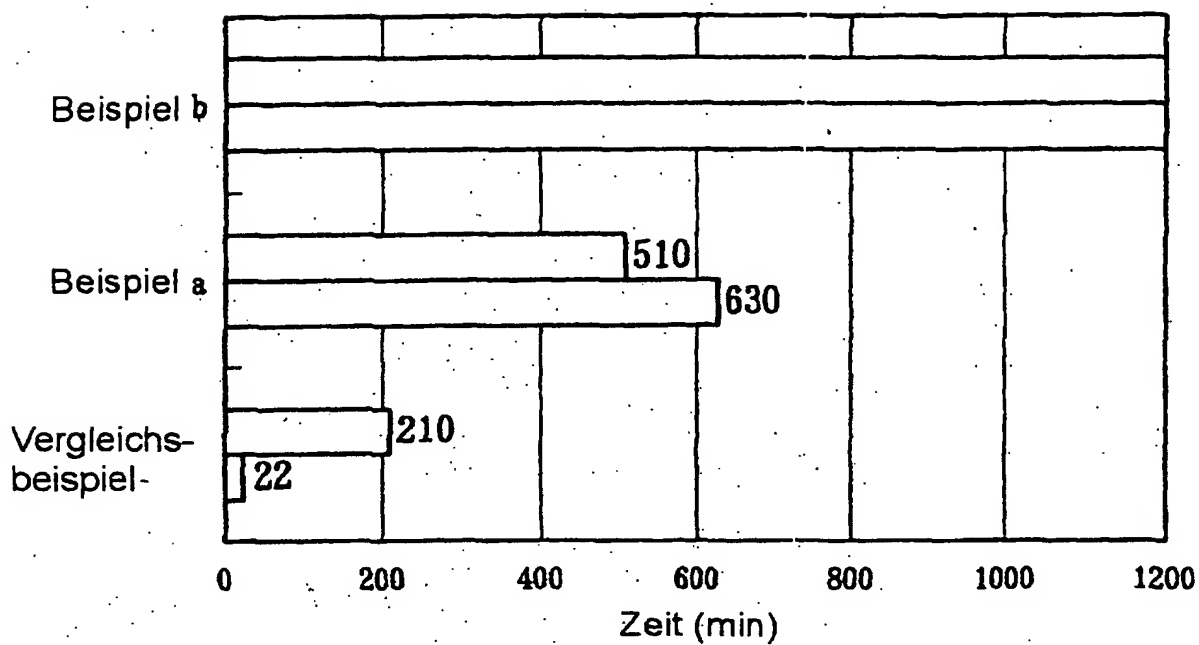


FIG. 3B

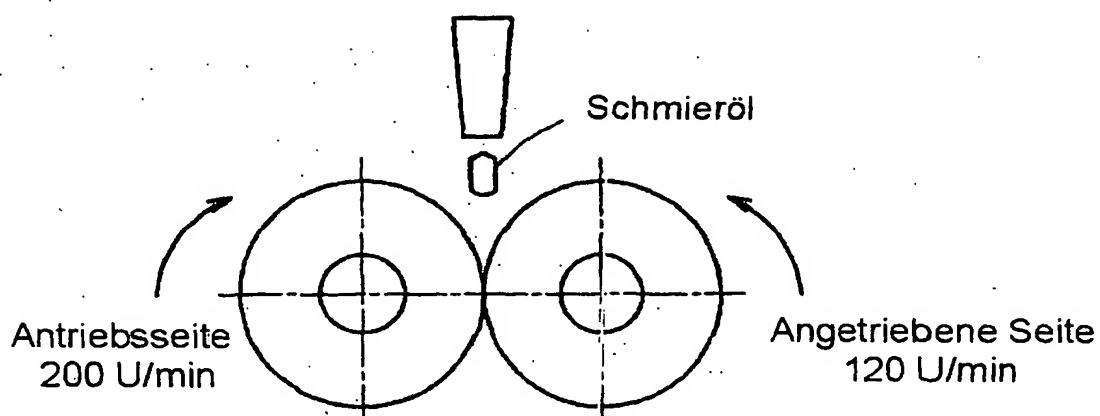


FIG. 4A

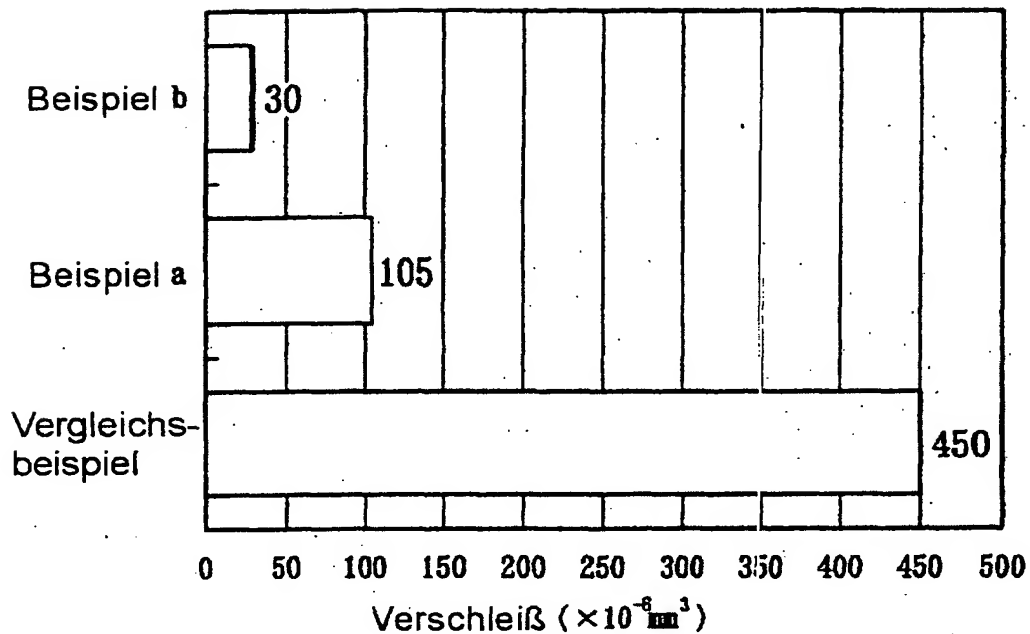


FIG. 4B

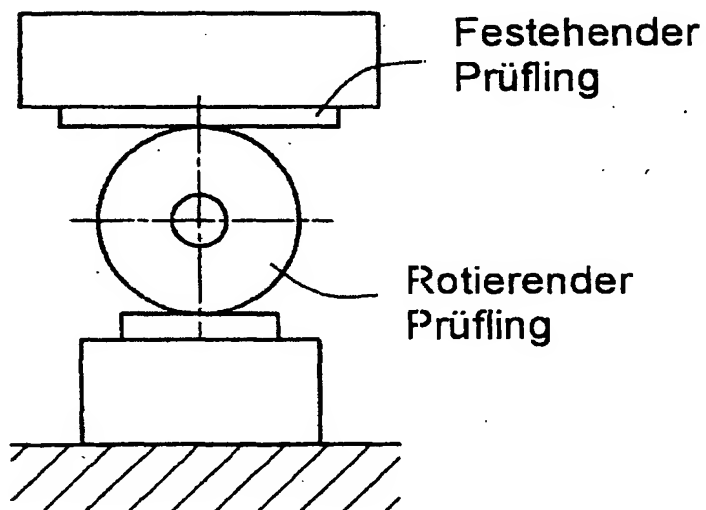


FIG. 5A

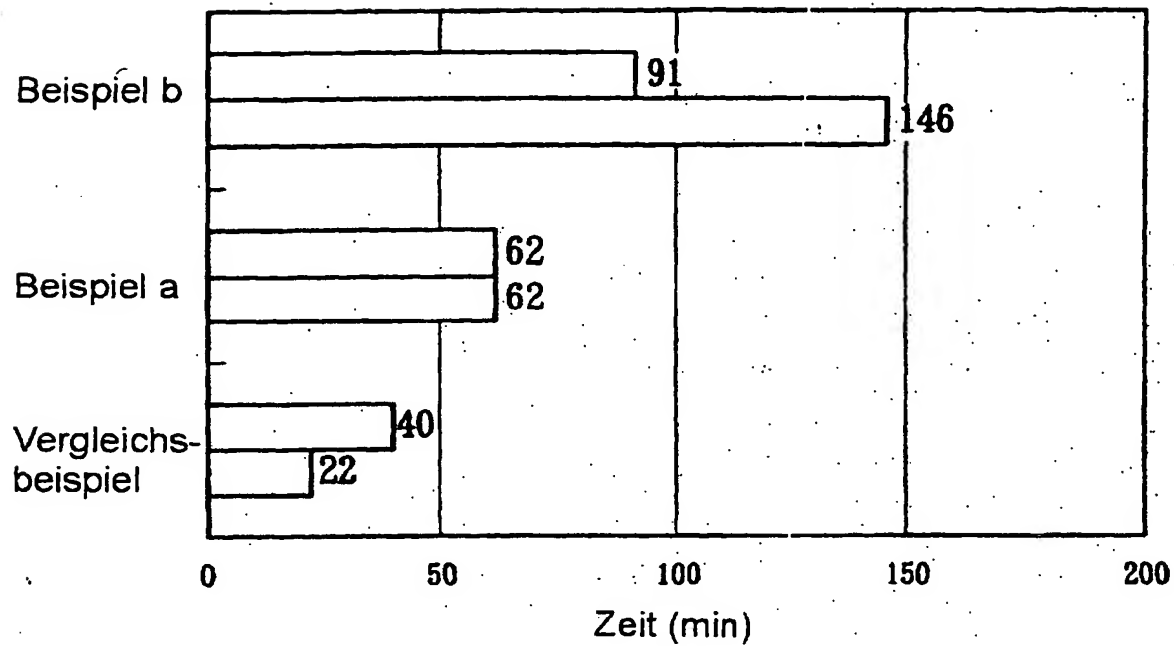


FIG. 5B

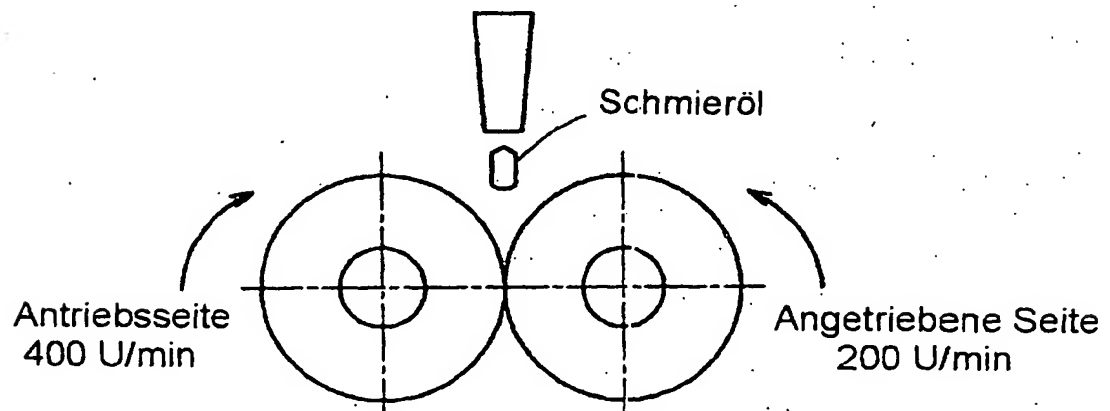


FIG. 6A

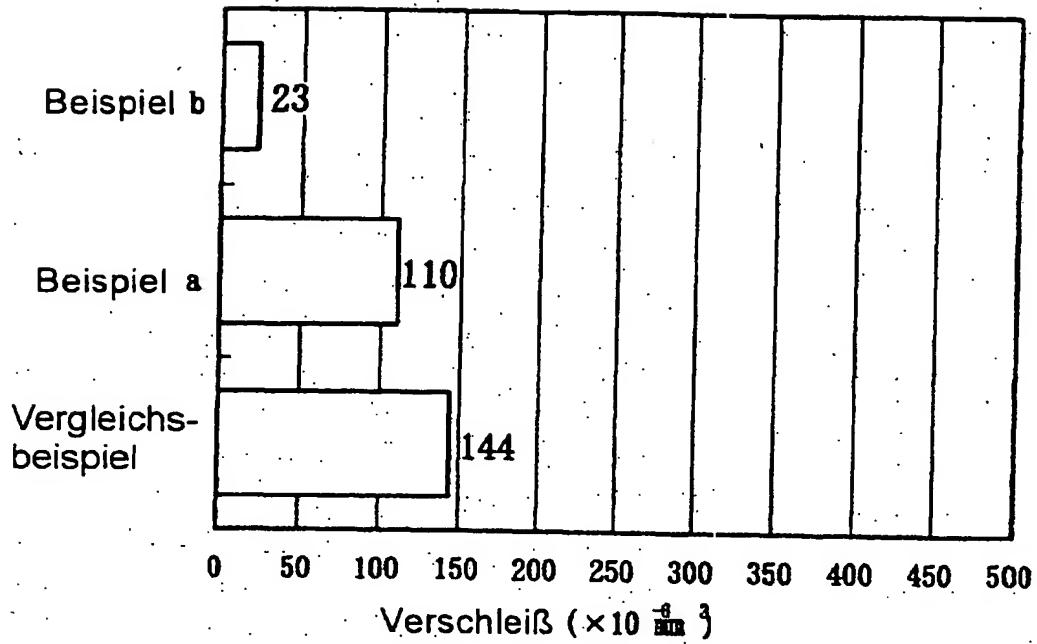
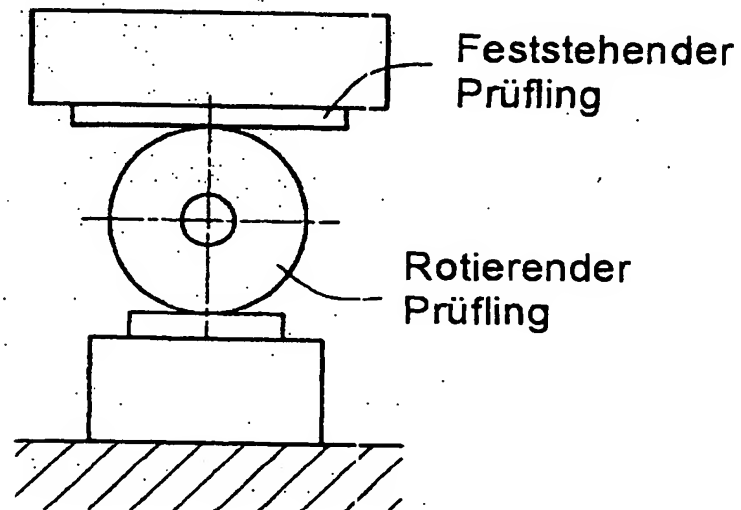


FIG. 6B



THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)